

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

This Page Blank (uspto)



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09088685 A**(43) Date of publication of application: **31.03.97**

(51) Int. Cl.

F02D 41/14**F02D 45/00****G05B 13/02**(21) Application number: **07252130**(22) Date of filing: **29.09.95**(71) Applicant: **MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD**(72) Inventor: **YASUJIMA TAKUMI****(54) AIR-FUEL RATIO CONTROL DEVICE FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINE**

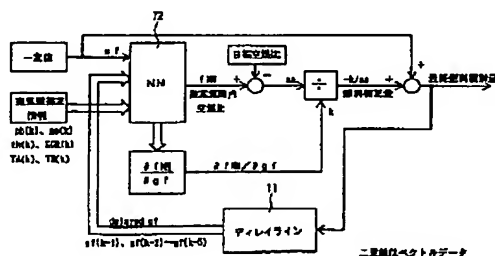
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a high-precision air-fuel ratio control device having a good transient response characteristic in particular even if there is a lag of an air-fuel ratio sensor and the sticking of fuel in an internal combustion engine.

SOLUTION: The cylinder air-fuel ratio is calculated based on the engine data acquired in advance, and an NN12 receives the fuel injection quantity including the past value and the air quantity estimation information such as suction pressure and outputs the calculated cylinder air-fuel ratio for learning. The difference between the cylinder air-fuel ratio estimated by the NN12 based on the information such as the momentarily changing fuel injection quantity and the target air-fuel ratio is divided by the coefficient obtained by partially differentiating the output of the NN12 with the fuel injection quantity, and the fuel correction quantity for correcting the cylinder air-fuel ratio to the target air-fuel ratio is obtained. The fuel injection quantity is corrected with this correction quantity to obtain the final fuel injection quantity.

The cylinder air-fuel ratio is approximated to the target air-fuel ratio, and the air-fuel ratio with the exhaust gas is controlled at the target air-fuel ratio.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO



This Page Blank (uspto)

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-88685

(43)公開日 平成9年(1997)3月31日

| (51)Int.Cl. ⁸ | 識別記号 | 庁内整理番号 | F I | 技術表示箇所 |
|--------------------------|-------|--------|---------------|---------|
| F 0 2 D 41/14 | 3 1 0 | | F 0 2 D 41/14 | 3 1 0 H |
| 45/00 | 3 4 0 | | 45/00 | 3 4 0 F |
| G 0 5 B 13/02 | | | G 0 5 B 13/02 | L |

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 20 頁)

(21)出願番号 特願平7-252130

(22)出願日 平成7年(1995)9月29日

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 安島 巧

神奈川県横浜市港北区綱島東四丁目3番1

号 松下通信工業株式会社内

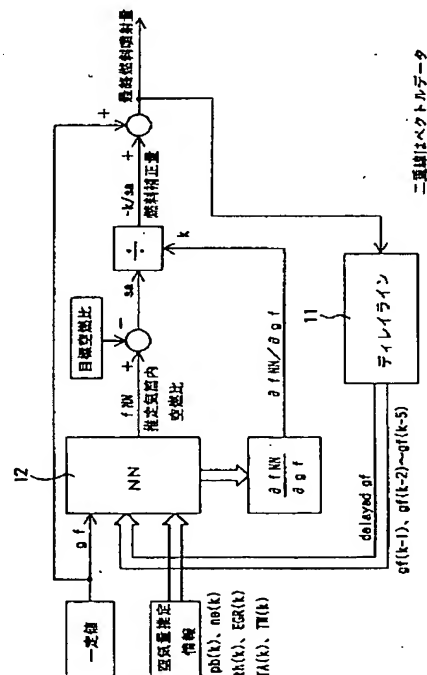
(74)代理人 弁理士 森本 義弘

(54)【発明の名称】 内燃機関の空燃比制御装置

(57)【要約】

【課題】 内燃機関において、空燃比センサの遅れや燃料付着があっても、特に過渡応答特性が良好な高精度空燃比制御装置を提供する。

【解決手段】 あらかじめ取得したエンジンデータにより、気筒内空燃比を計算で求め、過去の値を含んだ燃料噴射量と、吸気圧等の空気量推定情報を入力とし、算出した気筒内空燃比を出力とするNN12を学習する。実制御では、時々刻々の燃料噴射量などの情報により、NN12で推定した気筒内空燃比と目標空燃比との差を、NN12の出力を燃料噴射量で偏微分して係数で割り、気筒内空燃比が目標空燃比となるための燃料補正量を求める。この補正量で燃料噴射量を補正して最終燃料噴射量を求める。このようにして気筒内空燃比を目標空燃比に近づけ、結果的に排ガスでの空燃比を目標空燃比に制御する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 内燃機関において、時系列データとして、気筒内に流入する酸素量を推定するための酸素量推定情報と、気筒内への燃料噴射量と、空燃比センサで排ガス中の酸素量を検出して求めた空燃比とを測定し、前記時系列データを、インテークマニホールド内への燃料付着機構や燃料噴射時点から空燃比センサの前記検出による反応時点までの時間遅れを用い作成したエンジンモデルに当てはめ、前記エンジンモデルの内部係数と気筒内空燃比とを算出し、算出した気筒内空燃比を、酸素量推定情報と燃料噴射量とを入力したニューラルネットワークに学習させることにより、酸素量推定情報と燃料噴射量と気筒内空燃比との関係をニューラルネットワークに学習させ、この学習済みのニューラルネットワークに、時々刻々の酸素量推定情報と、現在の燃料噴射量としてある一定値と、過去の燃料噴射量とを入力し、これらに基づいて求めた推定気筒内空燃比をニューラルネットワークから出力し、ニューラルネットワークからの推定気筒内空燃比と空燃比の目標値として予め設定された目標空燃比との差を求めるとともに、前記推定気筒内空燃比に対して燃料噴射量により偏微分した偏微分値を求め、前記推定気筒内空燃比と目標空燃比との差を前記偏微分値により割り算した除算値に基づいて、推定気筒内空燃比が目標空燃比となるような理想燃料噴射量を求め、気筒内への実際の燃料噴射量を、前記理想燃料噴射量となるように制御する内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 2】 エンジンモデルの気筒内空燃比をニューラルネットワークに学習させるに際し、ニューラルネットワークに入力される酸素量推定情報と燃料噴射量として、現在の情報だけでなく、必要に応じて過去の情報も含むようにした請求項 1 に記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 3】 酸素量推定情報として、インテークマニホールド内の気圧、スロットル開度、大気圧、冷却水温度、大気温度、エンジンの回転数、排気ガス環流量のうちから必要数の情報を用いるようにした請求項 1 または請求項 2 に記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 4】 現在の燃料噴射量として、一定値の代わりに過去の最新の燃料噴射量を用いるようにした請求項 3 に記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 5】 現在の燃料噴射量として、一定値の代わりに、酸素量推定情報に基づいて予め設定したテーブルや実験式により求めた基本燃料噴射量を用いるようにした請求項 3 に記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 6】 請求項 1 で測定した時系列データと請求項 1 で作成したエンジンモデルとを用いて、前記エンジンモデルの内部係数と気筒内空燃比とを算出し、前記エンジンモデルにより、算出した前記内部係数を用いて気筒内空燃比が空燃比の目標値として予め設定された目標空燃比となるような理想燃料噴射量を逆算して求め、前

記逆算により求めた理想燃料噴射量を、酸素量推定情報と過去の燃料噴射量とを入力したニューラルネットワークに学習させることにより、酸素量推定情報と過去の燃料噴射量と理想燃料噴射量との関係をニューラルネットワークに学習させ、この学習済みのニューラルネットワークに、時々刻々の酸素量推定情報と過去の燃料噴射量とを入力し、これらに基づいて求めた理想燃料噴射量をニューラルネットワークから出力し、気筒内への実際の燃料噴射量を、ニューラルネットワークからの前記理想燃料噴射量となるように制御する内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 7】 請求項 1 で学習済みのニューラルネットワークにより、時々刻々の酸素量推定情報と燃料噴射量とに基づいて推定気筒内空燃比を出力し、前記推定気筒内空燃比に対して、その微分値を求めるとともに燃料噴射量による偏微分値を求め、前記微分値を偏微分値で割ることにより、気筒内空燃比が前回の気筒内空燃比となるような燃料噴射補正量を求め、この燃料噴射補正量を基本燃料噴射量に加算して気筒内への実際の燃料噴射量とする請求項 5 に記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 8】 気筒内への実際の燃料噴射量として、燃料噴射補正量を信号の振幅を制限する制限要素を通じて基本燃料噴射量に加算したものをを用いる請求項 7 に記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 9】 気筒内への実際の燃料噴射量として、燃料噴射補正量から、H P F を通じて高周波成分を抽出し、これを基本燃料噴射量に加算したものをを用いる請求項 7 に記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 10】 空燃比センサの出力や測定データや観測器の出力から得られた内部状態に基づく信号を燃料噴射量にフィードバックするコントローラを併用する請求項 4、請求項 6、請求項 8 および請求項 9 のいずれかに記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、自動車などの動力として使用される内燃機関の空燃比を制御する空燃比制御装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、地球の環境を保護するために、自動車の排ガス規制がきびしくなりつつある。一般のガソリンエンジンの自動車は 3 元触媒を排ガス浄化に用いており、この 3 元触媒の排ガス浄化特性はエンジンの空燃比により大きく変わる。

【0003】空燃比とは燃焼する燃料に対する空気量の割合であり、空燃比が 14.7 である場合に、この空燃比を理想空燃比または理論空燃比と呼ぶ。この理論空燃比において 3 元触媒による排ガス浄化特性が最良となり、理論空燃比から、燃料過剰状態であるリッチ方向、あるいは空気過剰状態であるリーン方向のどちらにずれ

でも排ガス浄化特性は劣化する。よって、いかに空燃比を理論空燃比に維持するかが排ガス浄化の課題となっている。

【0004】空燃比制御においては、空燃比が理論空燃比になるように燃料噴射量を決定して設定し、この設定値になるように燃料噴射量を制御するのが一般的である。なぜなら、空気の量は制御しにくいからである。

【0005】そこで、インテークマニホールド内の気圧やスロットルの開度、大気温度、冷却水温度、エンジンの回転数、排ガス環流量（EGR）などから、気筒内に流入する空気の量を推定し、その空気量に見合う燃料噴射量を決定している。ここで、空気量とは正確には酸素の量であるが、実際には、空気を気筒内に取り込んで、この空気から酸素を供給しているので、以下、供給された酸素の量を、これに対応して取り込まれた空気量として説明する。

【0006】具体的には、まず、実験によって、前述の気筒内に流入する空気量を推定するための情報（以下、空気量推定情報と呼ぶ）を測定し、次に、それらの空気量推定情報によって気筒内に流入する空気量を推定し、この空気量から空燃比が14.7となるような燃料噴射量を求め、それらの関係を予めテーブルや実験式で記憶しておく。そして、実際の内燃機関においては、実測した空気量推定情報をもとに、予め記憶しているテーブルの検索や実験式により、直接的に燃料噴射量を求めている。このようにして得られた燃料噴射量を基本燃料噴射量と呼んでおり、この基本燃料噴射量をもとに実際の燃料噴射量を制御している。このような制御方式をフィードフォワード（以下、FFと呼ぶ）と呼んでいる。

【0007】実際の制御では、通常、エンジンに空燃比センサとして O_2 センサやLAFセンサなどを備え、その空燃比センサによって測定した空燃比に対応する出力を使用して、燃料噴射量にフィードバック（以下、FBと呼ぶ）をかけており、空燃比センサによって測定された実際の空燃比と理想の空燃比である理論空燃比との差を求め、その差に対応する燃料噴射量をFBコントローラを介して出力し基本燃料噴射量に加えている。

【0008】しかし、上記のような空燃比制御システムは、燃料噴射量の出力から空燃比の測定までのエンジンの伝達関数に時間遅れを含む時変非線形システムであり、そのため、固定されたFB係数で制御すると、特にスロットル開度を変化させるような過渡状態における制御誤差が大きくなるなどの問題が生じる。ここで、時間遅れの大きな要素としては、燃料が噴射されて爆発し、その排ガスが空燃比センサに到達し、空燃比センサが反応してその出力に影響がでるまでの時間があり、この時間遅れを、以下、空燃比センサの遅れと呼ぶ。

【0009】次に、燃料付着という現象について説明する。インジェクタで噴射された燃料は、全てが気化するわけではなく、一部はインテークマニホールド内に液体

として付着し、気筒には流入せず、その後ある時定数をもって気化し、次回以降のサイクルで気筒に流入するという複雑なメカニズムになっている。さらに、燃料付着率や蒸発する時定数などは固定値でなく、エンジンの動作状態で変化する。この燃料付着現象も制御の過渡応答特性を悪くしている原因となっており、問題点の1つとして挙げられる。

【0010】これらの問題を解決するためには、現代制御理論における状態FBを用いる方法がある。これは、遅れが大きい空燃比センサ単独のFBではなく、気筒内空燃比や燃料付着量などのエンジン内部の状態を燃料噴射量へFBする方法であり、これらは燃料噴射量からの遅れが少なく過渡応答特性の比較的良好な制御を実現することができる。しかし、これら気筒内空燃比や燃料付着量などのエンジン内部の状態は実際に測定できるものではないので、観測器によって間接的に内部状態を求める必要がある。

【0011】しかし、観測器による外部の間接的な測定により内部状態の推定を行うためには、プラントのモデルが正しく求められていることが必要であり、エンジンのように内部係数が時々刻々と変化するような制御対象ではその内部状態の推定が困難である。そこで、適応制御などのように内部係数を同定して求める方法があるが、内部係数が急激に変化する場合には、内部係数同定の遅れにより過渡応答特性が劣化してしまう。そのため、特開平6-17680号公報に開示されているように、あらかじめ測定されたデータに基づいて作成されたテーブルや実験式により、おおまかな内部係数を求め、その後、適応制御により内部係数の誤差を修正して行くという方法が取られている。

【0012】しかし、上記の同定演算は、一回の演算時に連続した掛け算が5回程度はあり、しかも1制御周期で完結する演算ではなく、複数の制御周期に渡って行われる収束計算になるので、連続する掛け算の回数は無限回に近くなる。その時に問題となるのが計算精度であり、通常は浮動小数点演算を用いる。それは、各パラメータのとり値の範囲を限定することが比較的困難であり、演算精度が結果にもたらす影響を推測することも困難であるからである。したがって、浮動小数点演算をリアルタイムでこなす、高性能なCPUが必要になる。

【0013】このように、内燃機関の空燃比制御のような時変非線形システムの制御では、プラントの種々の条件における内部係数をあらかじめ記憶させておいて使用することが、過渡応答特性を良くするために必要であることと、1制御周期で演算が完結し連続した掛け算の回数が少なく演算語長を短くできる方法が、低価格のCPUを使用する上で有効であることがわかる。通常、このために、プラントなどの内部係数をあらかじめ記憶させておくテーブルや内部係数を求める実験式が用いられる。この方法を、以下、テーブル方式と呼ぶ。

【0014】テーブル方式では、実験によって予めデータを取り、そのデータをメモリにテーブルの形で記憶しておく。しかし、2次元程度の場合には問題とならないが、3次元以上になると、取得するデータの点数や記憶しておくためのメモリ容量が多くなるという問題点が発生する。そこで、プラントに対する知識と取得したデータの解析により、部分的にはテーブルを残すとしても、できる限り実験式の形に近似するようにする。このテーブル方式では過渡状態をテーブル化することが困難であるという問題点を有している。

【0015】テーブル方式は、代表点のデータを使用して補間するやり方であり、少なくとも代表点は精度良く求めておかねばならない。そのために代表点では複数のデータを取得して平均を求める。定常状態では、条件が同じ複数のデータを取得することが容易であるが、過渡状態で条件が同じ複数のデータを取得することは極めて困難である。できたとしても、所定の精度を得るために必要なデータ数を測定するにはかなりの時間を要する。

【0016】さらに、動作中にテーブルの値や実験式を変化させて行くことは困難であるため、初期の値を永久に使用することになり、経年変化に対して弱いという欠点がある。また、個体毎にテーブルを作成することは現実的でないため、個体バラツキに対しても弱いという欠点もある。

【0017】このようにテーブル方式は、(1)プラントに対する知識が必要、(2)データ取得と実験式作成に時間がかかる、(3)実験式に置き換えたときに誤差が発生する、(4)過渡状態を記憶できない、(5)メモリの使用量が大きい可能性がある、(6)経年変化・個体バラツキに弱い、という欠点がある。

【0018】このようなテーブル方式の欠点を補う方式として、特開平3-235723号公報や特願平6-216169に開示されているように、ニューラルネットワーク（以下、NNと呼ぶ）を使った方式がある。

【0019】NNの学習データそのものは状態の離散的データの集合であるが、それらを近似するなめらかな超曲面を学習によって導き出すものであり、NNの特徴として、内部の正確なモデル化はできないものの入出力の関係がわかっている場合、学習によりその入出力関係を表す関数（NN内部の係数は物理量的な意味をほとんど持たない）を作成できるという利点があることが一般的に言われている。この意味でNNは万能なコンピュータとして使用できるように誤解されやすいが、実際には、入出力の相関性がなければ学習をおこなっても所望の精度が得られないものである。したがって、NNを使用した装置を記述する場合に重要なことは、いかに相関の高い入出力を使用して学習しているかであり、相関の低い入出力では、実現性が乏しいことは明白である。

【0020】いかに相関の高い入出力を得るかは、最終的には学習結果での学習誤差によって判定されるが、実

は対象とするもののモデル化によるところが大きい。NN応用制御の世界では、「NNはモデルができなくてもブラックボックスとして扱える利点があるが、実はモデル化が重要」と言われている。これは、可能な限りモデル化をして、入出力の関係を明らかにして、どんな入力が必要かを決定するためである。

【0021】さて、NNによる制御例として、特開平3-235723号公報に開示されたもので、エンジンの空燃比制御への適用例が記載されている。この適用例を記載内容の範囲内で推測すると、各制御タイミングにおける冷却水温度、エンジンの回転数、気筒内に流入する空気量などを各センサで測定し、それらの測定データをNNへの入力情報として、NNから得られた出力を燃料噴射量とするものである。

【0022】この公報に開示されたNNによる制御例は、前述したような空燃比センサの遅れや燃料付着の現象がないエンジンの場合や、スロットル開度の変化が小さい運転領域では有効であると思われる。スロットル開度の変化が大きく、かつ空燃比センサの遅れや燃料付着の現象が無視できないエンジンの場合には、上記のような入力だけでは、学習精度がかなり悪くなってしまい、制御特性も非常に劣化してしまうということが予想される。

【0023】一方、特願平6-216169では、燃料付着を考慮したモデルを使用して、入出力の相関が高いように入力情報が決定されている。すなわち、その時点のデータのみでなく過去のデータも入力情報として加えており、いくつ前のデータが必要であるかを演繹的に求めている。この方式における相関の高さは、学習誤差や実エンジンの制御結果により間接的に証明されており、この方式が実現可能であることを示している。

【0024】しかし、この方式は、以下の理由により、空燃比センサの遅れが小さいエンジンを対象としているものと推測される。つまり、この方式の制御周期を点火タイミングとする（以下、この制御周期をTDCと呼ぶ）と、燃料が噴射されて爆発した後、空燃比センサがその排ガスに反応するまでの時間は、制御周期の10倍を超えてしまう。空燃比センサがその排ガスに反応するまでの時間を短縮するため、空燃比センサをシリンダに近いところに取り付けければ、その遅れは非常に小さくすることができるが、極めて高温であるため、空燃比センサの寿命を短くするし、多気筒エンジンの場合には気筒毎に空燃比センサが必要となり、コストがアップしてしまう。

【0025】この方式に関しての記載内容を解析すると燃料付着モデルは一次遅れの要素であるため、入力情報として、燃料噴射量としては $gf(k)$ と $gf(k-1)$ の2個を入力している。詳細な式計算は省略して結果のみ示すと、空燃比センサの遅れが n TDCとすると $gf(k-n)$ までのデータが必要であり、また、空燃

比センサの部分に 1 次遅れのローパスフィルタを仮定すると、空燃比 (A/F) の入力が必要になる。したがって、空燃比センサの遅れが多くなると、それにとまって NN の入力の個数を多くしなければならない。

【0026】入力の個数が多くても一定ならば問題は少ない。しかし、空燃比センサの遅れは、制御周期や排ガスの流速の関数であり、一概に $nTDC$ と言えとは限らない。回転数によって n が変化する可能性も十分考えられる。オフラインで NN の学習をする場合は、そのデータ毎に空燃比センサの遅れ n を考慮して学習用データを作成すればよいが、実際に NN を利用してエンジンを制御する場合に、回転数によって入力の数を変えることは非常に処理が複雑となる。

【0027】また、それでなくても入力の個数が多くなると学習に要する時間が増大するとともに、実際の制御システムにおいても処理量が大となり、高性能な CPU が必要となる。

【0028】また、この方法によると FB の係数は同定の必要もなく瞬時に求められるが、空燃比センサの遅れがあるため、状態 FB 中の A/F による FB が遅れ、過渡応答特性が劣化するという問題もある。

【0029】ところで、一般的に NN は便利であるが、危険をとまなうものでもあると言える。確かに、テーブル方式は前述したように、技術者がその物理量の意味に基づいて実験式を併用するなどしているの、入出力の関係の全貌が一目でわかるという利点がある。ということは、燃料噴射量の最大値も確実に規定できるし、この回転数領域で、スロットル開度のある一定値以上の場合に対する燃料噴射量の増量などという仕様変更があった場合でも、簡単にテーブルを変えることができるということである。しかし、NN の学習結果の結合係数は物理量的意味をほとんどもたず、NN を使用した制御系の安定性などの理論的裏付けもない。

【0030】よって、まず安全性を確保するためには、考えられる運転領域全般において、動作試験はもちろんのことフェイルセーフ機能が必須である。特に人間の生命に関与する装置では、フェイルセーフ機能がついていること、あるいはフェイルセーフ機能を付加することが容易であることが、工業的に重要である。また、前述した仕様変更があった場合に、そのような学習データを作成して学習をやりなおす必要がない構成にしておくことも重要になる場合もある。

【0031】

【発明が解決しようとする課題】このように上記のような従来の方式では、内燃機関の空燃比制御装置内に、大量で複雑な演算および動作を短時間で処理できるような処理能力の高い高性能な CPU を使用しなければ、運転時の安全性が確保できるような安定でかつ過渡応答特性の良好な高精度な空燃比制御を実現することができないという問題点を有していた。

【0032】本発明は、上記問題点を鑑み、運転時の安全性が確保できるような安定でかつ過渡応答特性の良好な高精度な空燃比制御を、高性能な CPU を使用することなく、低コスト・低工数で実現することができる内燃機関の空燃比制御装置を提供する。

【0033】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明の請求項 1 に記載の内燃機関の空燃比制御装置は、内燃機関において、時系列データとして、気筒内に流入する酸素量を推定するための酸素量推定情報と、気筒内への燃料噴射量と、空燃比センサで排ガス中の酸素量を検出して求めた空燃比とを測定し、前記時系列データを、インテークマニホールド内への燃料付着機構や燃料噴射時点から空燃比センサの前記検出による反応時点までの時間遅れを用いて作成したエンジンモデルに当てはめ、前記エンジンモデルの内部係数と気筒内空燃比とを算出し、算出した気筒内空燃比を、酸素量推定情報と燃料噴射量とを入力したニューラルネットワークに学習させることにより、酸素量推定情報と燃料噴射量と気筒内空燃比との関係をニューラルネットワークに学習させ、この学習済みのニューラルネットワークに、時々刻々の酸素量推定情報と、現在の燃料噴射量としてある一定値と、過去の燃料噴射量とを入力し、これらに基づいて求めた推定気筒内空燃比をニューラルネットワークから出力し、ニューラルネットワークからの推定気筒内空燃比と空燃比の目標値として予め設定された目標空燃比との差を求めるとともに、前記推定気筒内空燃比に対して燃料噴射量により偏微分した偏微分値を求め、前記推定気筒内空燃比と目標空燃比との差を前記偏微分値により割り算した除算値に基づいて、推定気筒内空燃比が目標空燃比となるような理想燃料噴射量を求め、気筒内への実際の燃料噴射量を、前記理想燃料噴射量となるように制御するよう構成する。

【0034】請求項 4 に記載の内燃機関の空燃比制御装置は、請求項 1 の現在の燃料噴射量として、一定値の代わりに過去の最新の燃料噴射量を用いるように構成する。請求項 5 に記載の内燃機関の空燃比制御装置は、請求項 1 の現在の燃料噴射量として、一定値の代わりに、酸素量推定情報に基づいて予め設定したテーブルや実験式により求めた基本燃料噴射量を用いるように構成する。

【0035】請求項 6 に記載の内燃機関の空燃比制御装置は、請求項 1 で測定した時系列データと請求項 1 で作成したエンジンモデルとを用いて、前記エンジンモデルの内部係数と気筒内空燃比とを算出し、前記エンジンモデルにより、算出した前記内部係数を用いて気筒内空燃比が空燃比の目標値として予め設定された目標空燃比となるような理想燃料噴射量を逆算して求め、前記逆算により求めた理想燃料噴射量を、酸素量推定情報と過去の燃料噴射量とを入力したニューラルネットワークに学習

させることにより、酸素量推定情報と過去の燃料噴射量と理想燃料噴射量との関係をニューラルネットワークに学習させ、この学習済みのニューラルネットワークに、時々刻々の酸素量推定情報と過去の燃料噴射量とを入力し、これらに基づいて求めた理想燃料噴射量をニューラルネットワークから出力し、気筒内への実際の燃料噴射量を、ニューラルネットワークからの前記理想燃料噴射量となるように制御するよう構成する。

【0036】請求項7に記載の内燃機関の空燃比制御装置は、請求項1で学習済みのニューラルネットワークにより、時々刻々の酸素量推定情報と燃料噴射量とに基づいて推定気筒内空燃比を出力し、前記推定気筒内空燃比に対して、その微分値を求めるとともに燃料噴射量による偏微分値を求め、前記微分値を偏微分値で割ることにより、気筒内空燃比が前回の気筒内空燃比となるような燃料噴射補正量を求め、この燃料噴射補正量を請求項5の基本燃料噴射量に加算して気筒内への実際の燃料噴射量とするように構成する。

【0037】請求項8に記載の内燃機関の空燃比制御装置は、請求項1の気筒内への実際の燃料噴射量として、請求項7の燃料噴射補正量を信号の振幅を制限する制限要素を通じて基本燃料噴射量に加算したものをを用いるように構成する。

【0038】請求項9に記載の内燃機関の空燃比制御装置は、請求項1の気筒内への実際の燃料噴射量として、請求項7の燃料噴射補正量から、HPFを通じて高周波成分を抽出し、これを基本燃料噴射量に加算したものをを用いるように構成する。

【0039】請求項10に記載の内燃機関の空燃比制御装置は、請求項1の空燃比センサの出力や測定データや観測器の出力から得られた内部状態に基づく信号を、請求項4、請求項6、請求項8および請求項9のいずれかの燃料噴射量にフィードバックするコントローラを併用するように構成する。

【0040】そして、請求項1の構成によると、燃料付着メカニズムや空燃比センサの遅れを考慮したエンジンモデルを作り、測定したエンジンデータから、エンジンの内部係数や気筒内空燃比を逆算する。燃料噴射量から気筒内空燃比までの遅れは燃料付着による遅れ1TDCのみであり、空燃比センサの遅れの影響が入らない。実際の制御では、燃料噴射量の入力のうち、現在の燃料噴射量として一定値を入力し、その場合に推定気筒内空燃比をニューラルネットワークの出力で得る。これは目標空燃比の14.7とは通常ずれている。現在の燃料噴射量でニューラルネットワークの出力を偏微分すると、現在の燃料噴射量と推定気筒内空燃比の関係が求められる。よって、推定気筒内空燃比が目標空燃比となるための現在の燃料噴射量が逆算できる。この逆算した現在の燃料噴射量を気筒内への実際の燃料噴射料とする。制御周期が1進むと、前回実際に噴射した燃料噴射量が過去

の最新の燃料噴射量とし計算に使われる。こうして、この制御系は常に気筒内空燃比が目標空燃比になるように制御するため、遅れて検出される排ガスの空燃比も目標空燃比と一致する。このようにして、酸素量推定情報が変化する過渡時においても各制御タイミングで理想的な燃料噴射量を算出する。

【0041】請求項4の構成によると、ニューラルネットワークは非線形関数であるため、入出力の偏微分の結果は、局所的に有効である。したがって請求項1の制御系の場合、現在の燃料噴射量として一定値を使用しているが、これが最終的な燃料噴射量と大きくずれていると制御誤差が大きくなる。そこで、理想の燃料噴射量は急激には変化しないという仮定のもとに、過去の最新の燃料噴射量をもって現在の燃料噴射量として計算する。

【0042】請求項5の構成によると、請求項4と同様の理由で、現在の燃料噴射量として、酸素量推定情報に基づいてテーブルや実験式により算出した基本燃料噴射量を用いる。

【0043】請求項6の構成によると、請求項1で述べた内部係数や気筒内空燃比の逆算をしたときに、その瞬間における内部係数や内部状態が全て求められているわけであるから、気筒内空燃比が目標空燃比となるような理想燃料噴射量を計算で求めることができる。これをニューラルネットワークの出力として学習し、実際の制御では、この出力をそのまま燃料噴射量とする。このようにして、ニューラルネットワーク係数の算出や推定気筒内空燃比と目標空燃比との差を求めたニューラルネットワークの係数で割り算するなどの処理が実際の制御系でする必要がなくなるため、制御系での処理を減少する。

【0044】請求項7の構成によると、請求項5の制御系において、推定気筒内空燃比の微分値を燃料噴射量にフィードバックするものであり、PID制御のD(微分項)に相当する。こうすると、ニューラルネットワークの制御系は気筒内空燃比の変動を抑える方向にのみ作用する。

【0045】請求項8の構成によると、ニューラルネットワークを使用して求めた燃料噴射量を基本燃料噴射量と燃料噴射補正量に分ける。基本燃料噴射量は過渡状態の情報は含まれていないものの、おおむね理想の燃料噴射量に近い値である。よって、燃料噴射補正量の絶対値は小さな値となる。この燃料噴射補正量をその振幅を制限する制限要素に通して基本燃料噴射量に加算する。制限要素にかからないような入力の場合、ニューラルネットワークを使用して求めた燃料噴射量は最終的な燃料噴射量と一致する。万が一、ニューラルネットワークを使用した制御系が異常動作を起こし、異常な燃料噴射補正量が算出されたとしても、制限要素により最終的な燃料噴射量は基本燃料噴射量と大きく変わらない値となる。

【0046】また、燃料噴射補正量を完全にカットする制限要素を設け、この制限要素をOFFにしたときは、

最終燃料噴射量が基本燃料噴射量と一致する。基本燃料噴射量を最終燃料噴射量とした場合は、空燃比の精度は悪いものの、エンジンとしての動作は問題ない。よって、開発時点での実験をする場合や、動作状態により、ニューラルネットワークを使用した制御を行いたく無い場合に、この制限要素を利用する。

【0047】請求項9の構成によると、燃料噴射補正量の高周波成分のみ抽出して燃料噴射量を補正するものである。こうすると、ニューラルネットワーク制御系は過渡特性の改善のみに効果を現し、定常特性は基本燃料噴射量に依存する。よって、従来例で述べた仕様変更に対する対応などが容易になる。

【0048】請求項10の構成によると、請求項4、6、8、9の制御系に対して、空燃比センサの出力の低周波領域のフィードバックを併用することで、定常状態の誤差（空燃比制御誤差のオフセット分に相当）を低減し、経年変化や個体バラツキの影響を少なくする。

【0049】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を示す内燃機関の空燃比制御装置について、図面を参照しながら説明する。ここでは、内燃機関として、一般的なガソリンエンジンを例に挙げて説明する。

【0050】本発明の請求項1、請求項2、請求項3に対応する実施の形態を示す空燃比制御装置について説明する。図1は、本発明の請求項1、請求項2、請求項3に対応する実施の形態を示す空燃比制御装置の制御ブロック図である。まず、ディレイライン（英文では、「delay line」のように表記する）11によって、実際にエンジンに供給される燃料量である最終燃料噴射量から過去の燃料噴射量の値 $gf(k-1)$ 、 $gf(k-2) \sim gf(k-5)$ を作りだし、ニューラルネットワーク（以下、NNと略記する）12に入力する。

【0051】また、気筒内に流入する空気量を推定するための空気量推定情報（正確には気筒内に流入する酸素量を推定するための酸素量推定情報）として、例えば、インテークマニホールド内の吸気圧 $p_b(k)$ 、スロットル開度 $th(k)$ 、冷却水温度 $TW(k)$ 、大気温度 $TA(k)$ 、エンジンの回転数 $ne(k)$ 、排気ガス環流量 $EGR(k)$ も同様に入力する。

【0052】さらに、現在の燃料噴射量 gf として一定値を入力する。この一定値としては、通常取りうる範囲の値にしておく。すると、NN12の出力には現在の燃料噴射量 gf がこの一定値だった場合の推定気筒内空燃比 f_{NN} が出力される。これは、目標空燃比に一致しているとは限らないので、目標空燃比との差 sa を求める。一方、NN12は入出力の偏微分が可能なので、出力である推定気筒内空燃比 f_{NN} を入力である現在の燃料噴射量 gf で偏微分した結果 k を求める。この場合には、入力を微小に変化させて出力の変化分を求めるやり方もあるが、計算量が多くなるので、NN12内部の計

算式を式変形して簡略化して求めている。この式変形は難しい内容ではないので、ここでの説明は省略する。

【0053】こうして求めた k を sa で割り、符号を逆転させて燃料補正量 $-k/sa$ を求める。この燃料補正量 $-k/sa$ と現在の燃料噴射量 gf として設定していた一定値を加算して最終燃料噴射量とする。この最終燃料噴射量を今回の燃料噴射量とした場合に推定気筒内空燃比 f_{NN} が目標空燃比に一致することが容易に推定できる。

【0054】気筒内空燃比が目標空燃比であるならば、排ガスでの空燃比は遅れがあるものの目標空燃比になる。運転状況に応じて目標空燃比を変化させたい場合には、図中の目標空燃比を変化させればよい。

【0055】NN12の入力である空気量推定情報としては、インテークマニホールド内の吸気圧 p_b など6種類の情報を用いている。しかし、この6種類の情報が必要条件ではなく、簡略化したり別な情報を利用することもできる。たとえば、暖機済み状態のみこの制御をおこなう場合には、冷却水温度 TW は一定と考えられるため、冷却水温度 TW の項は不要となり、吸気圧センサを用いなくてエアフローメータや熱線流速計などを用いるLジェトロ方式のエンジンの場合には吸気圧 p_b の代わりにそれらのセンサの値を入力することになる。

【0056】図1におけるディレイライン11について説明を加える。この詳細は、図2に示すように、1TDC（制御周期＝燃焼サイクル）づつ遅らせた出力を取り出すものである。この実施の形態では5回遅らせた $gf(k-5)$ まで求めて使用しているが、何回まで遅らせたデータを使用するかは、対象とするエンジンや運転条件によるので、5回にこだわるものではない。この回数決定方法については後述する。

【0057】図1に示す制御器は、燃料噴射量の決定において、フィードフォワード（以下、FFと略記する）の役割を果たすものであるが、内部にフィードバック（以下、FBと略記する）ループが存在している。NN12の学習誤差を仮に0とすると、 z 平面における単位円上に極が存在するため、このままでは不安定である。この問題はループ内部に適当な補償要素を有する補償器を入れることにより容易に解決できる。

【0058】一番簡単な補償器としては、ゲインが0から1の間であるゲイン要素を有するものであり、その構成を図3に示す。図3の補償器31は図1における sa の部分に挿入するものであり、図1の sa を k との割り算要素に入れずに、図3の sa' に入力し、図3の sa の出力を図1の k との割り算要素に入力するものである。図3の補償器31ではゲイン要素のゲインを0.8に設定している。

【0059】図4はNNの構成を示すものである。図4において、NNは3層構造で、入力層の個数は12であり、中間層の個数は20でしきい値関数はtangent sigmoid

oid (図4ではtansigと記載)を用いており、出力層は1個でしきい値関数は最も簡単な線形関数(図4ではlinearと記載)である1を用いてる。

【0060】このNNの入力の種類の決定や学習用のデータの作成について述べる前に、対象とするエンジンのモデルについて述べる。図5はエンジンモデルの構成図である。前半が係数a、b、c、dからなる燃料付着モデルで、後半が空燃比センサ部分における係数e、fからなるLow Pass Filter (以下、LPFと略記する)である。この燃料付着やLPFの考え方については、従来例で示した文献に詳しく記述されているので、ここでの説明は省略する。

【0061】図5において、燃料付着モデルの出力である気筒流入燃料量 $X(k)$ と気筒流入空気量 $air(k)$ の逆比の値が気筒内空燃比 $Y(k)$ である。この燃料付着モデルには、エンジンの燃焼サイクルによる遅れや排ガスがシリンダから空燃比センサに到達してセンサが反応するまでの時間を $nTDC$ とし、時間遅れ要素 z^{-n} を挿入している。この遅れを、以下、空燃比センサ遅れと呼ぶことにする。ここで、係数a、b、c、d、e、fは時刻kの関数であるので正確には $a(k)$ 、 $b(k)$ のように記すべきであるが、図をわかりやすくす

$$X(k)=d \cdot gf(k)+(a \cdot c-b \cdot d)gf(k-1)+b \cdot X(k-1) \cdots \text{式1}$$

【0065】LPFモデルから(式2)を得る。

【0066】

【数2】

$$A/F(k+n)=f \cdot Y(k)+e \cdot A/F(k+n-1) \cdots \text{式2}$$

【0067】(式2)の時刻をnずらして(式3)を得る。

【0068】

【数3】

$$A/F(k)=f \cdot Y(k-n)+e \cdot A/F(k-1) \cdots \text{式3}$$

$$X(k-n+1)=d \cdot gf(k-n+1)+(a \cdot c-b \cdot d)gf(k-n)+b \cdot X(k-n)$$

$$X(k-n+2)=d \cdot gf(k-n+2)+(a \cdot c-b \cdot d)gf(k-n+1)+b \cdot X(k-n+1)$$

$$\vdots$$

$$X(k-2)=d \cdot gf(k-2)+(a \cdot c-b \cdot d)gf(k-3)+b \cdot X(k-3)$$

$$X(k-1)=d \cdot gf(k-1)+(a \cdot c-b \cdot d)gf(k-2)+b \cdot X(k-2)$$

$$X(k)=d \cdot gf(k)+(a \cdot c-b \cdot d)gf(k-1)+b \cdot X(k-1) \cdots \text{式5}$$

【0073】

【数6】

$$A/F(k+1)=f \cdot Y(k-n+1)+e \cdot A/F(k)$$

$$A/F(k+2)=f \cdot Y(k-n+2)+e \cdot A/F(k+1)$$

$$A/F(k+3)=f \cdot Y(k-n+3)+e \cdot A/F(k+2)$$

$$\vdots$$

$$A/F(k+n-1)=f \cdot Y(k-1)+e \cdot A/F(k+n-2)$$

$$A/F(k+n)=f \cdot Y(k)+e \cdot A/F(k+n-1) \cdots \text{式6}$$

【0074】これら(式5)および(式6)の式中で、

るために、(k)を省略し簡略化して記している。

【0062】さて、図5におけるパラメータを見ると、実際に測定することができるのは、燃料噴射量 $gf(k)$ と排ガス空燃比 $A/F(k)$ のみであり、他のパラメータは実測することが相当困難である。そこで、 gf と A/F から他のパラメータを逆算することを試みる。求める未知のパラメータを、a、c、air、fとする。なぜなら、他のb、d、eは、それぞれa、c、fから求められるからである。a、c、f、airの4つのパラメータを gf と A/F のデータから求めるわけだが、計算は相当複雑になり、かなりの計算時間を要する。そこで、 $a(k)$ 、 $c(k)$ 、 $f(k)$ 、 $air(k)$ は、時刻kにおけるa、c、f、airではなく、時刻kで $X(k)$ 、 $Y(k)$ 、 $A/F(k+n)$ を決定するために使用されるa、c、f、airの平均的な値を定義する。近似的には、定義されたa、c、f、airは真のa、c、f、airの移動平均した値と言える。この定義に基づき関係式を導出する。

【0063】まず、燃料付着モデルより(式1)を得る。

【0064】

【数1】

【0069】また、X、Y、airの関係は(式4)で表される。

【0070】

【数4】

$$X(k-n)=air/Y(k-n) \cdots \text{式4}$$

【0071】さらに、(式1)と(式2)の時刻を順次ずらすことにより、(式5)および(式6)を得る。

【0072】

【数5】

$A/F(k)$ 、 $A/F(k-1)$ そして、 $gf(k)$ 、 $gf(k-1)$ 、 \cdots 、 $gf(k-n+1)$ 、 $gf(k-n)$ は即されるデータなので既知である。今、a、c、f、airに仮の値を設定すると、b、d、eがまず求められる。さらに、(式3)より $Y(k-n)$ が求められ、そして、(式4)より $X(k-n)$ が求められる。

【0075】次に、 $X(k-n)$ を(式5)に代入して、順次、 $X(k-n+1)$ 、 $X(k-n+2)$ 、 \cdots 、 $X(k-1)$ 、 $X(k)$ を求める。それを、(式4)の時刻をずらした式を用いて、 $Y(k-n+1)$ 、 Y

$(k-n+2), \dots, Y(k-1), Y(k)$ を求める。こうして求めた $Y(k)$ と $A/F(k)$ を (式6) に代入して、順次、 $A/F(k+1), A/F(k+2), \dots, A/F(k+n-1), A/F(k+n)$ を求める。

【0076】求めた $A/F(k+n)$ は測定された $A/F(k+n)$ とは一致しているとは限らない。それは、設定した a, c, f, air の値が仮の値で、正しい a, c, f, air の値ではないからである。そこで、求めた $A/F(k+n)$ と測定した $A/F(k+n)$ との差の絶対値を出力とする評価関数をつくり、評価関数の値が最小になる a, c, f, air の組み合わせを求める。評価関数の中身は前述した X や Y や A/F を順次求めてゆき、求められた $A/F(k+n)$ と測定された $A/F(k+n)$ の差の絶対値を求める計算式である。 a, c, f, air を求めるために、シンプレックス法を用いた。求めるためには空燃比センサの遅れ n が必要である。この遅れは、 Δgf と $\Delta A/F$ の相互相関関数を計算した結果や A/F に対する gf のステップ応答から各回転数における n を求めた。2000rpm の場合は12であり、3000rpm の場合は15であった。

【0077】従来の技術で示した特開平3-235723の方式では、この n の変動が問題となる。すなわち、 n の値によって伝達マトリクスの大きさが変化したり、あるいは、マトリクスの大きさを n の最大値にしておく必要があり、極指定法での係数比較計算量が大幅に増大する可能性があるからである。

【0078】4気筒エンジンでスロットル開度を変化させたときのデータを用いて求めた燃料付着率 a の結果を図6に示す。回転数は2000rpmで、エンジントルクに応じて負荷を変化させて回転数を一定にして測定したデータを使用した。横軸はTDCで縦軸は燃料付着率である。参考のためにスロットル開度 th の変化を破線で併記しており、縦軸は見やすいようにスケールしている。 gf が一定の場合は理論的には a, c, f を上記の方法で求めることは不可能であるが、実際のデータは gf も微小に変動しており、シンプレックス法により値が求められている。図7に排ガス空燃比の測定データを示す。対象とするエンジンには空燃比センサとして O_2 センサもっており、 O_2 センサを使用したPIFBがかかっているため、スロットル開度の変化がない状態でも A/F が変動している。もちろん、それに対応して gf も振れている。図7の横軸は図6と同じTDCで縦軸は空燃比である。このエンジンでは空燃比が約13.5に制御されていることがわかる。また、図6と同様にスロットル開度 th を併記している。

【0079】図8には、求めた気筒内空燃比 Y と図7に示した排ガス空燃比 A/F の測定データとを併記して示す。横軸はTDC、縦軸は空燃比であり、 Y が点線、 A/F が実線である。 Y に対して A/F が13TDC分遅

れていることと、 A/F が Y に対して波形がなまっていることがわかる。こうしてデータを測定したときの気筒内空燃比の挙動を知ることができた。この Y を教師信号として Y を推定するNNを構成することにより、気筒内空燃比 Y を推定できることになる。

【0080】気筒内に流入する空気量や運転状態を決定する情報として、まず空気量推定情報をNNの入力として選ぶが、気筒流入空気量と相関が高くなければならない。図9にインテークマニホールド内の吸気圧 pb と計算して求めた気筒流入空気量 air を示す。横軸はTDCで、実線が pb 、点線が air である。縦軸は見やすいようにスケールしている。非常に相関が高いことがわかる。よって、微修正のため他の情報も入力に入れるが、気筒流入空気量はほぼ吸気圧で表せられると言える。

【0081】図示はしていないが、ちなみにスロットル開度 th と air との間には時間のずれとグラフの形状が異なり相関が高いとは言えなかった。しかし、 pb センサの取り付け位置やエンジンの特性によっては、 pb と air の相関が崩れる可能性がある。特に air に対して pb が遅れることも考えられる。その場合は、スロットル開度などから air と相関が高い情報を作り出し、NNの入力に加える必要があるかもしれない。

【0082】次に、気筒流入燃料量 X を決定する情報について説明する。図5の燃料付着モデル部分をみると、気筒流入燃料量 X を決定する入力は燃料噴射量 gf である。内部係数である a, b, c, d が既知である場合に、過去の時刻 $k-m$ ($m>0$) での気筒流入燃料量 $X(k-m)$ と時刻 $k-m$ から時刻 k までの gf の値 $gf(k-m) \sim gf(k)$ がわかれば、 $X(k)$ を決定することができる。しかし、過去の $X(k-m)$ は測定できないのでわからない。しかし、付着した燃料の影響は時間が経つほど少なくなる。つまり、 m 回前の燃料噴射において付着した燃料が今回の気筒流入燃料量に含まれる割合は $a * b^m * c$ であり、 a, b, c は全て0~1の範囲の値なので、 m が大きくなるにつれ式の値が0に近づくことからである。実際、2000rpmから3000rpmのデータより得られた a, c の組み合わせ3万個余りで計算したところ、 $m=5$ で数%の誤差に収まることがわかった。よって、 $X(k)$ の決定には $gf(k-5)$ から $gf(k)$ を用いることにした。

【0083】このようにして、NNの入力項を決定し、 Y を教師信号として学習をおこなったが、 Y の全てを教師信号とはせず、スロットル開度の変化している付近のデータを抽出して教師信号とした。その理由は、教師信号の数が増えると学習に要する時間が長くなることと、全てのデータを使用すると定常状態のデータの比率が過渡状態のデータに比べて非常に高くなってしまいうからである。学習は通常のバックプロパゲーションを用いた。学習結果をエンジンコントローラにROMの形で記

憶させ、最初に述べた制御シーケンスをエンジンコントローラのCPUで動作させた。

【0084】ここで、計算量について触れておく。NNの計算は回数的には少ないとは言えない。しかし、掛け算の回数は多いものの連続する掛け算回数は少ない。しかも掛け算するNN内部の係数は固定値である。これらの意味することは、演算語数を短くし易く、実質的な計算量を削減できるということである。連続する掛け算は演算精度の問題を起こしやすい。NN内部の計算では3回（中間層の入力の係数、中間層のシグモイド関数、出力層の入力の係数）であり、値がすでにわかっているので、計算値の範囲もわかり、かつ制御周期内で完結する計算となるので演算精度の検証がし易い。

【0085】しかし、適応制御の場合は1回の同定に5回程度の連続掛け算があり、かつ制御周期を超えた収束計算となるので、演算精度検証がしづらい。よって、適応制御の場合は浮動小数点演算が必要になる可能性が大である。

【0086】次に、本発明の請求項4に対応する実施の形態を示す空燃比制御装置について説明する。図10は、本発明の請求項4に対応する実施の形態を示す空燃比制御装置の制御ブロック図である。ここで、図10と図1との異なる点は、図1の一定値の代わりに1TDC前の燃料噴射量 $gf(k-1)$ を用いると言う点である。

【0087】NN101は非線形関数であるので、NN101の入力の gf は最終燃料噴射量に近いほど、この制御系の精度が良くなる。よって、 gf として一定値では、制御性能が悪くなる可能性があり、 $gf(k)$ と $gf(k-1)$ との差は比較的小さいという性質を利用してNN101の推定精度を上げたものである。

【0088】その他の動作や原理については前述した内容と同じである。さらに工夫するならば、NN101の入力の $gf(k)$ と $gf(k-1)$ には常に同じ値を入力することになるため、学習結果が出たら、入力層や中間層の統合をおこなうことにより、NN101の入力を減らして、CPUの負荷を低減することができる。

【0089】次に、本発明の請求項5に対応する実施の形態を示す空燃比制御装置について説明する。図11は、本発明の請求項5に対応する実施の形態を示す空燃比制御装置の制御ブロック図である。従来の燃料噴射制御においても基本燃料噴射量という概念があったが、それは、スロットル開度 th やインテークマニホールド内

の吸気圧 pb やエンジンの回転数 ne などから、燃料噴射量を算出するテーブルや実験式を使って、FF的に燃料噴射量を決定するものである。

【0090】図11においては、基本燃料噴射量として、図1の一定値を図10の $gf(k-1)$ に置き換えたものである。図1の方法に対しては図10の説明で述べた理由で優位性があることがわかる。また、図11の方法では、 gf が直接には制御できないため、ややもすると不可制御に陥る可能性がある。

【0091】よって、図11の方法を実用化するためには安定性の検証実験量がかなり多く必要とする。特に開発段階の未完成なシステムでは、突然制御不能になることはデバッグがしづらく開発効率も非常に悪いことが予想される。

【0092】それに対して、図11の方法では、理想の燃料噴射量に近い基本燃料噴射量が常に入力されているので、制御ループの発振さえなければ、動作は安定である。また、基本燃料噴射量と燃料補正量をモニタしていれば、動作の把握がし易くデバッグが容易で、さらには燃料補正量を0にすることにより、何時でも最低限の動作状態を確保できるので開発効率も良い。また、同様の理由により、安定性の検証がし易くなる。

【0093】次に、本発明の請求項6に対応する実施の形態を示す空燃比制御装置について説明する。図12は、本発明の請求項6に対応する実施の形態を示す空燃比制御装置の制御ブロック図である。構成は非常にシンプルで、NN121の入力は $pb(k)$ などの空気量推定情報と $gf(k-1)$ などの過去の燃料噴射量である。NN121の出力は最終燃料噴射量であり、それをそのまま今回の燃料噴射量とする。NN121の構造は図4で示したものと異なり、今回の燃料噴射量 $gf(k)$ がなく、入力層の個数が1個減って11個となり、出力が気筒内空燃比推定量ではなく、今回の燃料噴射量 $gf(k)$ となっている。このNN121の学習方法について説明する。

【0094】図13は図5のうち燃料付着メカニズムを表した燃料付着モデル部分を抜き出したもので、さらに a 、 b などに (k) のインデックスをつけて正確に表現している。図の中で、 $w(k)$ は燃料付着量である。この図より、(式7)として次の関数が得られる。

【0095】

【数7】

$$gf(k) \cdot d(k) + w(k) \cdot c(k) = X(k)$$

$$\therefore w(k) = \frac{X(k) - gf(k) \cdot d(k)}{c(k)} \quad \dots \text{式7}$$

【0096】請求項1、請求項2、請求項3に対応する実施の形態を示す空燃比制御装置において説明したよう

に、取得データにおける時々刻々の $c(k)$ 、 $d(k)$ 、 $X(k)$ は求められているので、(式7)よ

り、時々刻々の $w(k)$ が求められる(以下、 w が求められるというように表現する)。一方、気筒内空燃比 Y との関係は(式8)で表される。

$$Y(k) = \frac{\text{air}(k)}{X(k)} \\ = \frac{\text{air}(k)}{gf(k) \cdot d(k) + w(k) \cdot c(k)} \quad \dots \text{式8}$$

【0098】今、理想燃料噴射量 $gf(k)$ を考え
る。理想というのは、時刻 k において、その量の燃料を
噴射すると気筒内空燃比が理想の空燃比 YY になること
である。(式8)の $Y(k)$ を YY とおいて(式9)を

$$YY = \frac{\text{air}(k)}{gf(k) \cdot d(k) + w(k) \cdot c(k)} \\ \therefore gf(k) = \frac{1}{d(k)} \left(\frac{\text{air}(k)}{YY} - w(k) \cdot c(k) \right) \quad \dots \text{式9}$$

【0100】こうして、理想燃料噴射量 $gf(k)$ が求めら
れた。この $gf(k)$ を教師信号として NN を学習させる。
次に、本発明の請求項7に対応する実施の形態を示す空
燃比制御装置について説明する。

【0101】図14は、本発明の請求項7に対応する実
施の形態を示す空燃比制御装置の制御ブロック図であ
る。図11と似ているが、異なる点は、 $NN141$ の出
力である推定気筒内空燃比の前回差分を取っていること
である。これは連続系における微分に相当するもので、
気筒内空燃比の急激な変動を抑える動作をする。

【0102】動作としてはPID制御のD(微分)動作
に相当する。 G はD動作の係数に相当するものである
が、系の安定性を考えると1未満である必要がある。こ
の系における低周波特性に関しては、 $NN141$ は関与
しない。燃料噴射量の低周波特性を決定するのは基本燃
料噴射量である。

【0103】次に、本発明の請求項8に対応する実施の
形態を示す空燃比制御装置について説明する。図15
は、本発明の請求項8に対応する実施の形態を示す空燃
比制御装置の概略の制御ブロック図である。図1、図1
0、図12で算出される最終燃料噴射量をそのまま最終
燃料噴射量としないで、図15の NN 応用制御によって
決定された燃料噴射量とし、それから基本燃料噴射量を
引き算する。その差分(以下、基本燃料補正量と呼ぶ)
は制限要素としてのリミッタ151やスイッチ152を
通り、再び基本燃料噴射量に加算されて、真の最終燃料
噴射量となる。定常状態で空燃比が目標空燃比となるよ
うに基本燃料噴射量は設定されているので、定常状態
では基本燃料補正量はほぼ0である。スロットル開度を
変化させる過渡状態では、基本燃料噴射量は0から離れた
値をとる。

【0097】

【数8】

得る。

【0099】

【数9】

【0104】今、何らかの事情で NN 系が異常動作を起
こした場合、基本燃料補正量が0より大きくかけ離れた
値をとることが予想される。また、定常状態になっても
基本燃料補正量が0から離れている値をとり続けること
も予想される。よって、このような現象を検知すること
により、 NN 系の異常を判定し、基本燃料補正量を0あ
るいは0に近い値にセットすることにより、最終燃料噴
射量が異常値をとる、あるいは異常値をとり続けること
を阻止できる。

【0105】たとえば、リミッタ151がなくスイッチ
152がONの状態では制御実験をおこない、過渡状態で
基本燃料補正量がどんな値をとるかをモニタする。その
値の最大・最小値からリミッタ151の上限と下限を決
定する。

【0106】すなわち、基本燃料補正量がある範囲(下
限値から上限値の範囲)を超えたならば、その上限値・
下限値の値にしてしまうのである。こうすることによ
って、 NN 系が異常になっても、エンジンが暴走するよ
うなことは無くなる。また、この範囲をある一定時間以上
超えている場合は、 NN 系が故障したと判断して、スイ
ッチ152をOFFにして NN 系を用いずに基本燃料噴
射量のみで最終燃料噴射量を決定するようにしてもよ
い。これらの異常対策の具体的アルゴリズムは、図15
のような構成があるならば、容易にかついろいろな方法
が考えられるので、ここでは簡単な例を説明するのみと
する。

【0107】また、図12の制御系と図15を組み合わ
せた全体図を図16に示す。さらに、図11の制御系と
図15を組み合わせた全体図を図17に示す。図17で
は、基本燃料噴射量を引き算した基本燃料補正量を算出
する仕組みがない。それは、図11の構成ではもともと

基本燃料噴射量にNNで決定した燃料補正量を加算するようになっているためである。

【0108】次に、本発明の請求項9に対応する実施の形態を示す空燃比制御装置について説明する。図18は、本発明の請求項9に対応する実施の形態を示す空燃比制御装置の概略の制御ブロック図である。この空燃比制御装置は、図15のリミッタ151やスイッチ152と同じ場所にHPF（高域通過フィルタ）181を挿入したものである。動作としては、請求項7に対応する実施の形態を示す空燃比制御装置と似ているが、基本燃料補正量の高周波成分のみ使用するというものである。図18を図11の制御系と組み合わせた全体図を図19に示す。

【0109】ここで、シミュレーションを試みる。図19の制御結果を見るためには、気筒内空燃比で従来例と比較するのがよい。図19では、最終燃料噴射量までしか求められていないので、すでに学習したNN191を使って気筒内空燃比を求めてみる。

【0110】図20がシミュレーション全体図である。下部のほうに、 g_f や過去の g_f 、空気量推定情報を入力としたNN201があり、その出力である気筒内空燃比を評価する。また基本燃料噴射量として、実験（ O_2 センサのPIフィードバック）時の燃料噴射量を用いた。HPF202の時定数は30TDCとし、回転数は2000rpmである。

【0111】図21に燃料噴射量の推移を示す。見やすいように500TDCまでの結果を拡大して表示している。実線が実験時の燃料噴射量で、点線が制御シミュレーション結果である。横軸はTDC、縦軸は正規化してある無次元数である。シミュレーション結果の方が変動が少ないことがわかる。

【0112】図22に気筒内空燃比の比較結果を示す。実線が前に計算で求めた実験時の気筒内空燃比で、破線が制御シミュレーション結果である。NNを使用した制御により空燃比の変動がかなり小さくなっているのがわかる。

【0113】実験時には空燃比が平均として13.5程度に制御されており、制御シミュレーション中の目標空燃比は14であったため、スタート時に破線が14から13.5近辺にゆっくりと変化している。これはHPFの効果である。NNの制御が30TDC以上のゆっくりとした変化には、動作しないことを示している。横軸の200TDC付近でスロットルを開き、820TDCでスロットルを閉じているが、その過渡状態でも空燃比の変動が抑えられているのがわかる。

【0114】前述したように学習用のデータは、過渡状

態の部分の切り出して作成している。よって定常状態のDC特性は余り精度が無いと言える。横軸800TDC以降の破線の空燃比がオフセットをもっているが、これはシミュレーション上で気筒内空燃比を求める時に用いたNNのDC精度が悪いため、実際のエンジンでは無くなるはずである。また、学習の範囲を拡大することによっても無くすことができると考えられる。

【0115】以上のように、この制御法では、DC特性の改善は見込めないものの、過渡特性を非常に良くすることができることが確認された。次に、本発明の請求項10に対応する実施の形態を示す空燃比制御装置について説明する。

【0116】図23は、本発明の請求項10に対応する実施の形態を示す空燃比制御装置の制御ブロック図である。図中のNN制御器231は、これまでの実施の形態で述べてきたNN制御系のうち、基本燃料噴射量を用いる制御系である。これらの制御系は過渡特性を良くすることはできるが、経年変化や個体バラツキに弱いという欠点をもっている。それは、あらかじめエンジン232の特性をNN制御器231に学習しておいたものを使用するからである。

【0117】図中のPID制御器233は大きなFBループを構成するものであり、従来のPI制御器の考え方と同じで、排ガス空燃比を空燃比センサで検出してFBをかけるものである。ただ、過渡特性はNN制御器231により改善されているので、PID制御器233は低周波成分の特性改善を果たせばよい。

【0118】請求項9に対応する実施の形態を示す空燃比制御装置では、HPFのカットオフとして30TDCを用いていた。よって、このFBでは30TDC以上の周期成分に対してゲインをもてば良いということになる。実験したエンジンでは、燃料噴射から、その燃料が燃焼して空燃比センサの反応が現れるまでの遅れが10数TDCだったので、周期が30TDC以上の周波数成分に対してFBをかけることは十分可能である。

【0119】図24は別の実施の形態であり、エンジン241に噴射される最終燃料噴射量に対してFBをかける方法であり、考え方は図23と同じである。また、図24のNN制御器242に入力されている基本燃料噴射量を削除した図25もまた別の実施の形態で、基本燃料噴射量を用いないNN制御器251を使用した制御系に対しても、請求項10に対応することがわかる。

【0120】最後に、表1により、明細書の各所で述べた略語・記号についての説明をまとめて示しておく。

【0121】

【表1】

| 記号・略語 | 意 味 |
|-----------|---|
| g f | 燃料噴射量 |
| A/F | 空燃比 |
| p b | 吸気圧（インテークマニホールド内の気圧） |
| n e | 回転数 |
| t h | スロットル開度 |
| E G R | 排ガス環流量 |
| T A | 気温 |
| T W | 水温 |
| a | 燃料付着率 |
| c | 蒸発率 |
| f | L P F 係数 |
| w | 付着燃料量 |
| n | 空燃比センサの遅れをT D Cで正規化したもの |
| g f m | 理想燃料噴射量 |
| a i r | 吸入空気量 |
| X | 気筒流入燃料量 |
| Y | 気筒内空燃比 |
| Y Y | 理想空燃比 |
| N N | ニューラルネットワーク |
| F F | フィードフォワード |
| F B | フィードバック |
| T D C | 点火タイミング周期（≒制御周期） |
| 空燃比センサの遅れ | 燃料噴射からその燃料が爆発して排ガスとなり、空燃比センサ出力に影響がでるまでの遅れ時間 |
| 排ガス空燃比 | 排気管におかれた空燃比センサの出力 |

表 1

【0122】

【発明の効果】以上のように、請求項1、請求項2および請求項3に記載の発明によれば、燃料噴射から空燃比センサ反応までの遅れ時間が長く、かつ回転数によってそれが変動する場合でも、燃料噴射から1制御周期しか遅れない気筒内空燃比を制御しており、また、遅れがある空燃比センサの出力を制御に使用していないので、あらかじめ取得したエンジンデータより、気筒内空燃比を算出し、それを出力とするニューラルネットワークを学習して、結果をエンジン制御に用いることにより、過渡特性の良い空燃比制御が可能である。

【0123】また、適応制御におけるプラント同定計算のような連続した掛け算の部分がなく、1制御周期で計算が完結し、かつその中での連続掛け算回数が少ないので、演算語長を短くする工夫をし易く、低価格CPUを使用しやすい。

【0124】請求項4に記載の発明によれば、請求項1、請求項2、請求項3に記載の発明による制御精度により、さらに高い制御精度が得られる。また、請求項

1、請求項2、請求項3に記載の発明とともに、基本燃料噴射量を決定するテーブルや実験式を必要としない。

【0125】請求項5に記載の発明によれば、請求項4に記載の発明による制御精度より、さらに高い制御精度が得られるので、特殊な運転状態において、燃料噴射量のある値としたいなどの仕様変更があったときに、ニューラルネットワークを学習し直さなくても、基本燃料噴射量テーブルを書き直すだけで実現できる。

【0126】また、請求項4に記載の発明では、開発途中の未完成な制御系でのデバッグが困難であったが、デバッグが容易で開発効率が上がるという効果がある。さらに、請求項1、請求項2、請求項3、請求項4に記載の発明とともに、目標空燃比を運転状態によって変化させたいときに、容易に変更できるという効果もある。

【0127】請求項6に記載の発明によれば、請求項1、請求項2、請求項3、請求項4、請求項5に記載の発明による構成に対して、制御系を大幅に簡素化できる。請求項7に記載の発明によれば、経年変化などにより学習されたニューラルネットワークのDC特性が悪く

なっても、過渡特性はそのまま良い状態を保つことができる。

【0128】請求項8に記載の発明によれば、開発途中において、制御系が完成されていなくても、エンジンを動作させることが容易で、基本燃料補正量をモニタすることで制御状態を把握することができるので、開発に要する時間を短縮できる。

【0129】また、実制御時に万が一ニューラルネットワークの動作が異常になった場合でも、それを検知し、エンジンが暴走しないようにフェイルセーフを働かすことができるので安全性が確保できる。

【0130】請求項9に記載の発明によれば、請求項7に記載の発明による効果に加えて、ある程度低い周波数成分も使用することにより、さらに制御精度を上げることができる。

【0131】請求項10に記載の発明によれば、経年変化や個体バラツキなどによって発生する空燃比のオフセットなど、低い周波数成分に対しての制御精度を高めることができる。

【0132】また、高価なLAFセンサでなく、低価格な O_2 センサを使用することも可能である。以上の各請求項に記載の発明による効果によって、運転時の安全性が確保できるような安定でかつ過渡応答特性の良好な高精度な空燃比制御を、高性能なCPUを使用することなく、低コスト・低工数で実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の請求項1、2、3の実施の形態の空燃比制御装置の制御ブロック図

【図2】同実施の形態におけるディレイラインの説明図

【図3】同実施の形態における補償器の構成図

【図4】同実施の形態におけるNNの構成図

【図5】同実施の形態におけるエンジンモデルの構成図

【図6】同実施の形態における燃料付着率の説明図

【図7】同実施の形態において測定された排ガス空燃比の説明図

【図8】同実施の形態において算出した気筒内空燃比の説明図

【図9】同実施の形態における吸気圧と算出した空気量

の関係図

【図10】本発明の請求項4の実施の形態の空燃比制御装置の制御ブロック図

【図11】本発明の請求項5の実施の形態の空燃比制御装置の制御ブロック図

【図12】本発明の請求項6の実施の形態の空燃比制御装置の制御ブロック図

【図13】同実施の形態における燃料付着メカニズムの説明図

【図14】本発明の請求項7の実施の形態の空燃比制御装置の制御ブロック図

【図15】本発明の請求項8の実施の形態の空燃比制御装置の概略制御ブロック図

【図16】同実施の形態における全体制御ブロック図

【図17】同実施の形態における別の全体制御ブロック図

【図18】本発明の請求項9の実施の形態の空燃比制御装置の概略制御ブロック図

【図19】同実施の形態における全体制御ブロック図

【図20】同実施の形態におけるシミュレーション全体制御図

【図21】同実施の形態における燃料噴射量の説明図

【図22】同実施の形態における気筒内空燃比の説明図

【図23】本発明の請求項10の実施の形態の空燃比制御装置の制御ブロック図

【図24】同実施の形態における別の制御ブロック図

【図25】同実施の形態におけるさらに別の制御ブロック図

【符号の説明】

11 ディレイライン

12, 101, 121, 141, 191, 201 NN

31 補償器

151 リミッタ

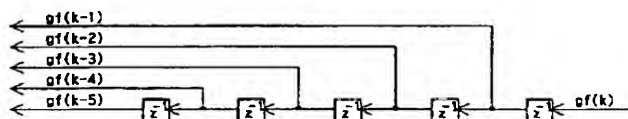
152 スイッチ

181, 202 HPF

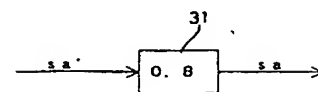
231, 242, 251 NN制御器

233 PID制御器

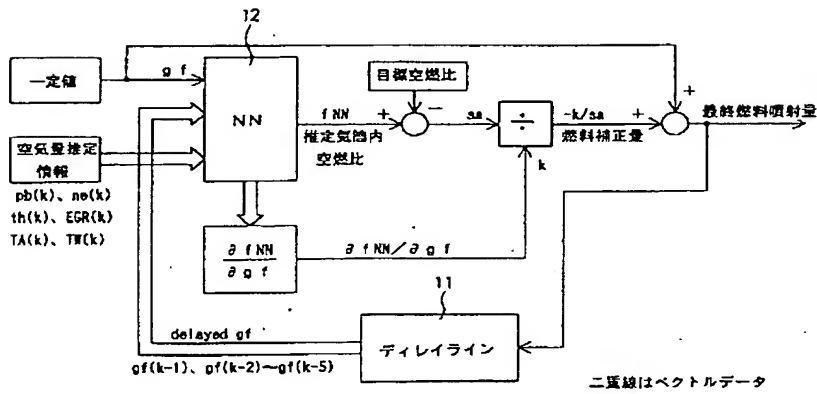
【図2】



【図3】

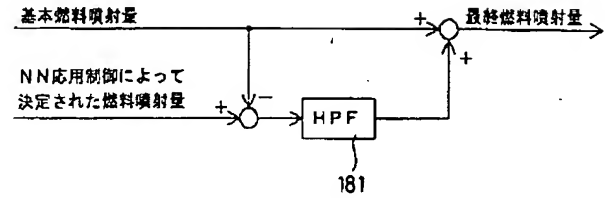
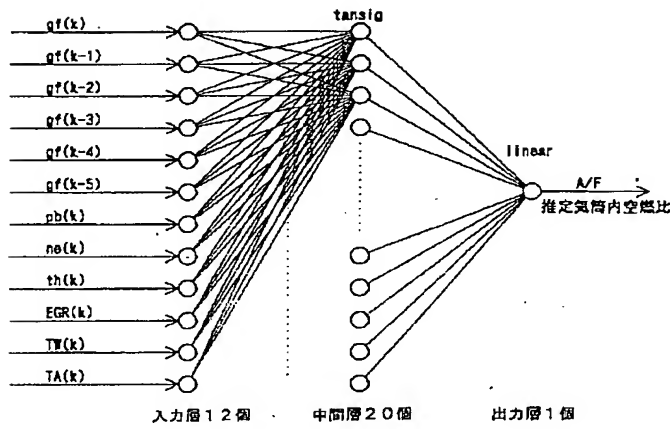


【図 1】

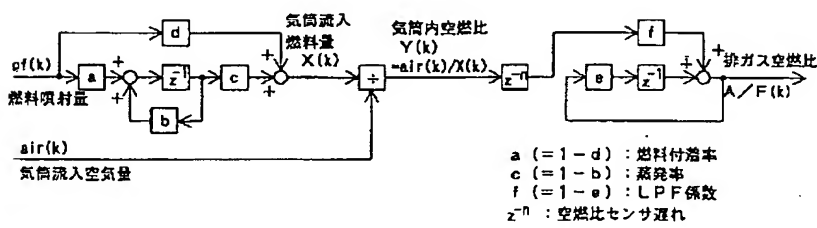


【図 4】

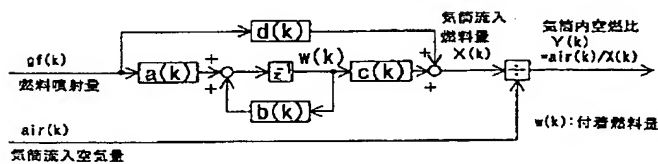
【図 18】



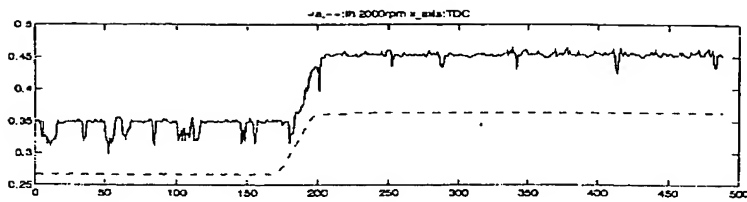
【図 5】



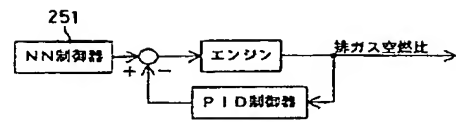
【図 13】



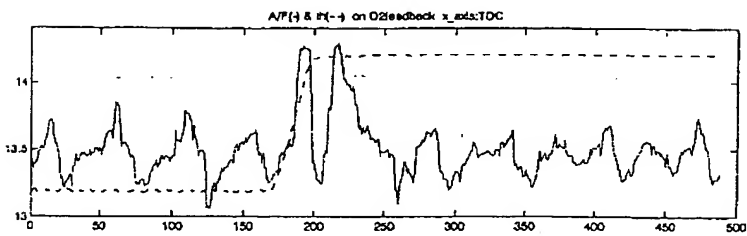
【図6】



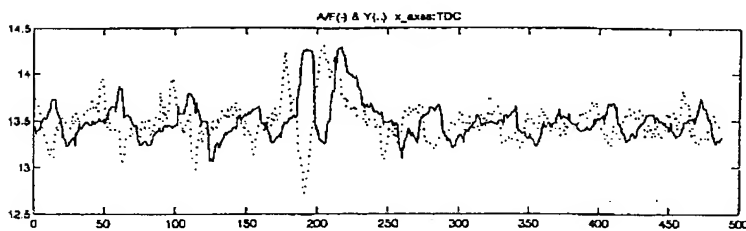
【図25】



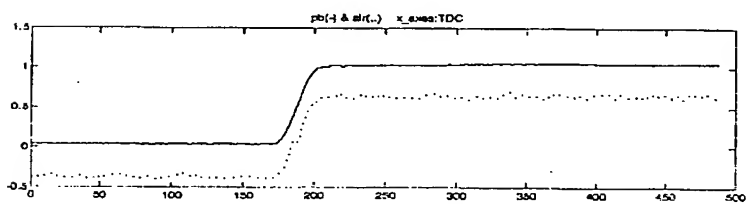
【図7】



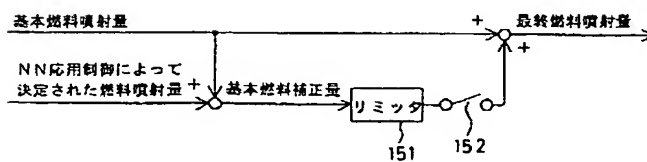
【図8】



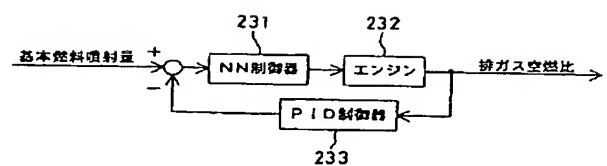
【図9】



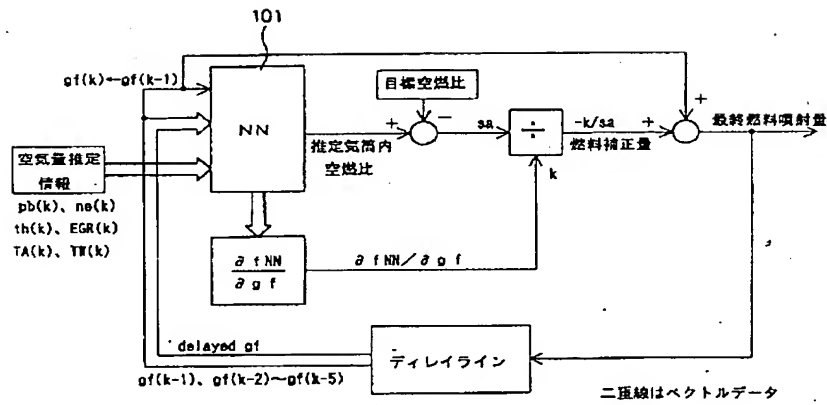
【図15】



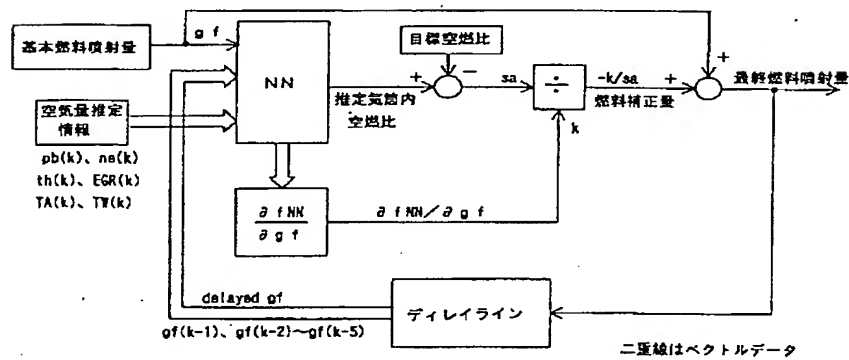
【図23】



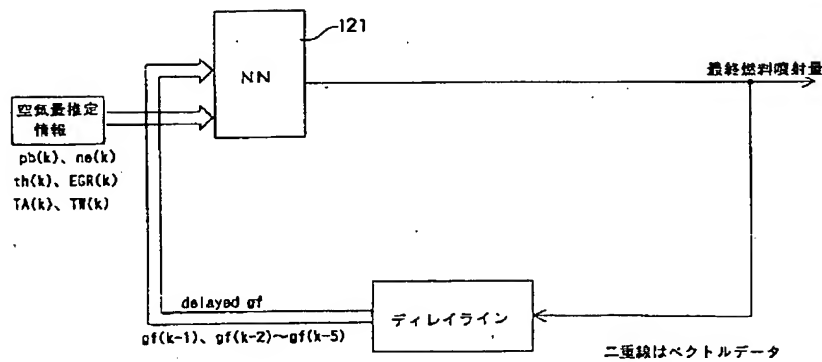
【図 10】



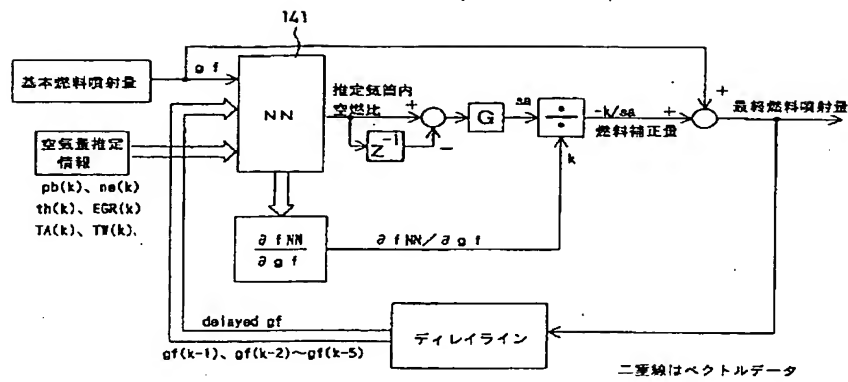
【図 11】



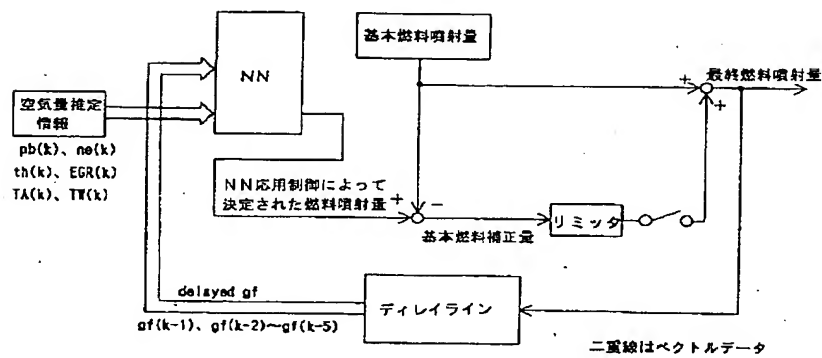
【図 12】



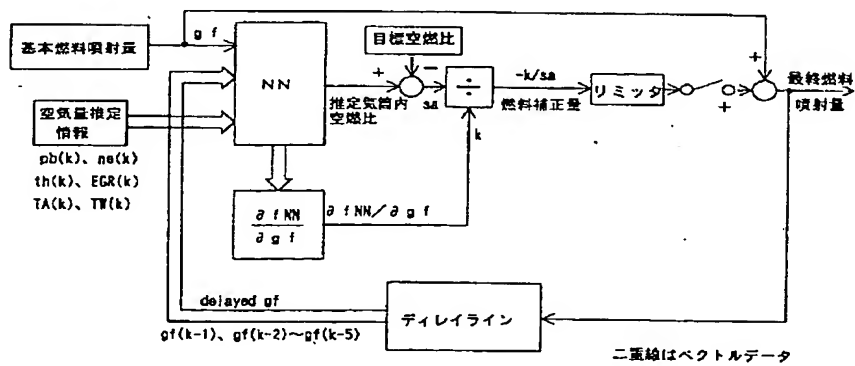
【図14】



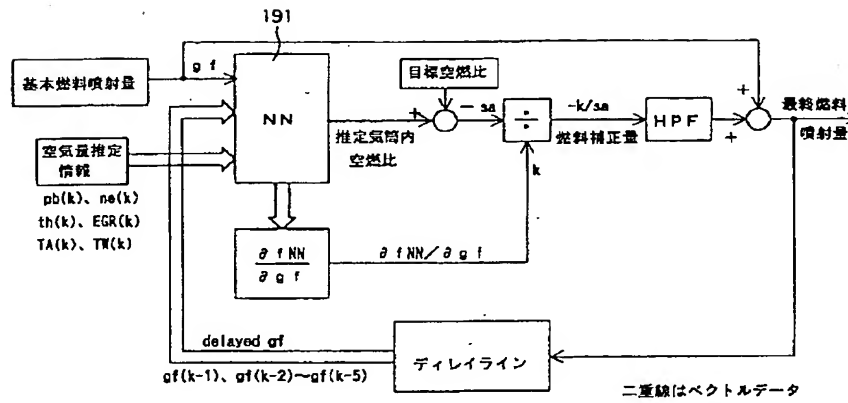
【図16】



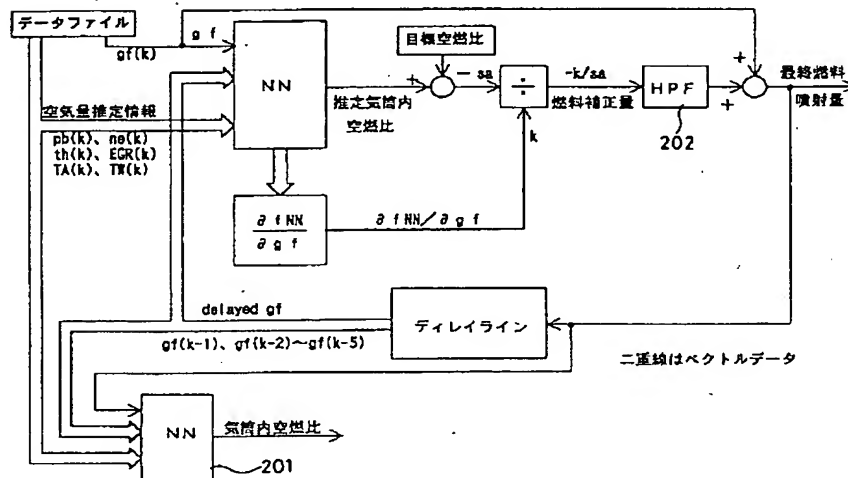
【図17】



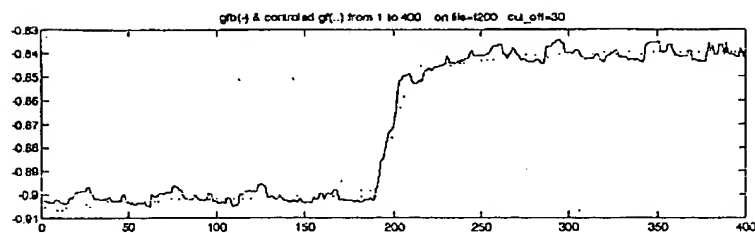
【図 19】



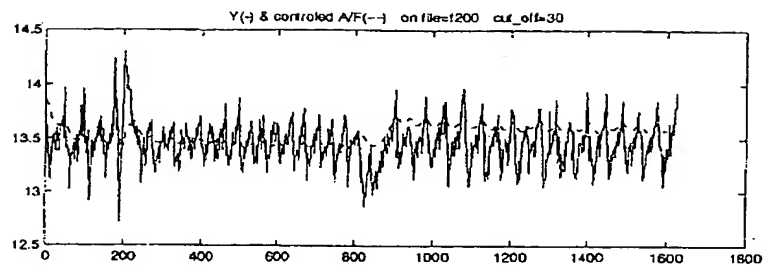
【図 20】



【図 21】



【図 2 2】



【図 2 4】

